

## 2パス方式によるブロック画像符号化の考察

加治佐 清光

### Considerations on Block Image Coding using a 2-Pass Method

Kiyomitsu KAJISA

For block image coding using a one-pass method, we have proposed a method to use 16 prediction equations, which are derived from 75 prediction equations. The 75 prediction equations are generated by combining 1/4-weighted prediction coefficients. However, this method has used 16 prediction equations that had been optimized for a set of several images. This paper proposes a two-pass method, which is effective for any one arbitrary image; the first pass is to select 16 optimized prediction equations and the second pass is to do block image coding using them. Also, we propose that entropy is more effective rather than MSE (Mean Square Error) as an evaluation criterion for selecting prediction equations.

Key words: Block Coding, Image Coding, Entropy, Prediction Error

#### 1. まえがき

階調画像の符号化は大別して非可逆符号化(lossy coding)と可逆符号化(lossless coding)とがある。可逆符号化は画質の劣化が望まれない応用分野である医用画像, 美術画像, 画像計測などで用いられる。さらに, 予測符号化を主体とする可逆符号化は, 画素ごとに予測を行う方式と, ブロックごとに予測を行う方式とに大別される。前者では, JPEG-Spatial方式[1], LOCO-Iをベースとした JPEG-LS[2],[3], 圧縮率は良いが複雑なために JPEG-LS の国際標準としては採用されなかった CALIC, 現在では最も圧縮率が良いが処理時間が長い TMW などが代表的な方式として知られている。本稿は, 後者の, 一つの画像をブロックに分け, ブロックごとに可逆符号化を行う方式に関する報告である。ブロック符号化は, さらに, ブロックサイズを可変とする方式[4]と固定とする方式があるが, 本稿ではブロックサイズを  $8 \times 8$  画素の固定ブロックとして扱う。

先に著者らは, 1パス方式でブロック画像符号化を行うにあたり, トップダウン方式で,  $1/4$  の整数倍の予測係数から構成される 75 種の予測式から最終的に選択された 16 種の予測式を用いる方法を提案した[5]。しかし, この方法ではあらかじめ用意された複数の画

像のグループに対してのみに最適な 16 種の予測式を用いていた。本稿では, これを改良し, 任意のある一つの画像に対して最適な 16 種の予測式を選択し, 引き続きブロック符号化を行う 2パス方式を提案する。また, 予測式を選択にあたり, 評価基準として MSE (Mean Square Error, 平均二乗誤差) を使用するよりもエントロピーを使用する方が有効であることを提案する。

本報告では, まず, ブロック符号化に関し, 1パス方式と 2パス方式との違いおよび評価基準について述べる。次に, シミュレーション実験の結果について述べ, 前回提案した方式(1パス方式, 評価基準は MSE, JPEG-Spatial 方式の 7 予測式を用いた場合に対する付加情報量を含めたエントロピーの改善率は 0.68%) [5]よりも, 今回提案する方式(2パス方式, 評価基準はエントロピー, 同じくエントロピーの改善率は 1.13%) が有効であることを示す。

#### 2. 2パス方式によるブロック符号化

##### 2. 1 ブロック符号化

1997 年に大沢氏らにより 4 種類の予測モードを用意しておき,  $8 \times 8$  画素のブロック単位で効率の良い予

測モードを用いる適応型の予測符号化法が提案された[6]. この提案では, 予測誤差の絶対値平均が最小となる予測モードをそのブロックの全画素の予測に適用する. さらに, 予測モードのうちの一つである線形予測モードでは, JPEG-Spatial 方式で用いられている 7 種の線形予測式について, それぞれブロック内で予測誤差の絶対値和を求め, その最小値をとる予測式をそのブロックの全画素の予測に適用する.

この提案は画像の局所性を反映する手段として有効と考えられる. 他方, 予測式の予測係数をブロック内の画素間の相関関数に基づく理論式から算出する方法も提案されている[8]~[10]. しかし, 著者らの実験によると, 予測係数が大きな値となる場合が発生する問題が存在している. そこで, 前者の提案が 7 種の予測式に限定している欠点と, 後者の提案が他にも最適な予測係数は存在する可能性があるという点とを考慮し, 相関関数を用いてボトムアップ方式で最適な予測係数を求めるのではなく, 著者らはトップダウン方式で最適な予測係数を求める方式を提案した[5].

## 2. 2 2パス方式

提案するトップダウン方式による予測式の選択と符号化の流れを図1に示す. 最初のパスでは, 75 種の予測式を一つのブロックに適用し, 予測により得られる評価値が最小の予測式を選択することを一つの画像の全ブロックについて繰り返す. 次に, 得られた 75 種の予測式ごとの選択された回数の多い順に, 32, 16 あるいは 8 種の予測式群を選択する. 2 番目のパスでは, このようにして得られた 32, 16 あるいは 8 種の予測式群を各ブロックに適用し, 評価値が最小となる予測式を用いて予測符号化を行う.

前回提案した 75 種の予測式は,  $1/4$  の整数倍の予測係数で構成される予測式で, 次のようにして導出した. ここの予測係数と画素との関係は図2の通りである.

- (1)  $-5/4 \sim 5/4$  の範囲で  $1/4$  の整数倍の予測係数 (11 種) の組合せを考える.
- (2) 三つの予測係数の和が 1 になる組合せは 15 通りである.
- (3) そのうち, 三つの予測係数が互いに異なる組合せは 10 通り, 二つの予測係数が等しい組合せは 5 通りであり, 各々 6 通りと 3 通りの係数の並びがあるので,  $10 \times 6 + 5 \times 3 = 75$  通りとなる.

このようにして得られた 75 種の予測式を用いた前回の実験の結果, 最終的に選択された 32 種の予測式群には  $-5/4$  の予測係数は含まれておらず,  $5/4$  を含む

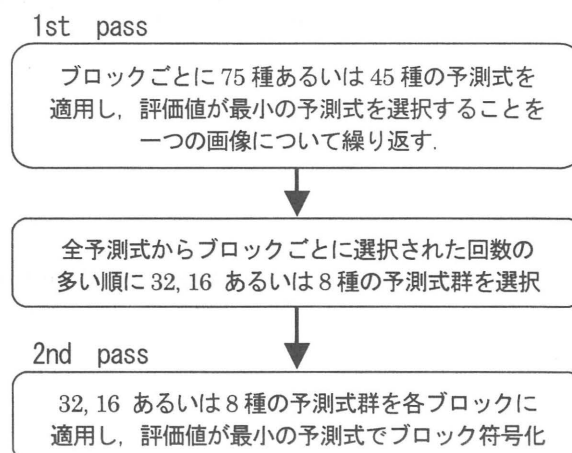


図1 トップダウンによる予測式の選択と符号化

$X_3$	$X_2$
$X_1$	$X'$

$$X' = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

図2 予測画素  $X'$  と近傍画素の位置関係と予測式

予測式  $(w_1, w_2, w_3) = (5/4, 1/2, -1/4), (5/4, 1/4, -1/2), (1/4, 5/4, -1/2), (1/2, 5/4, -3/4), (5/4, 1/2, -3/4)$  も相対的に出現頻度が低く, 最終的に選択された 16 種の予測式群では  $-5/4$  あるいは  $5/4$  を含む予測式は皆無であった. そのため, 今回は, 改善案として, 45 種の予測式を使用することを提案する. 予測式の導出は 75 種の場合と同様に, 次のようにして導出される.

- (1)  $-4/4 \sim 4/4$  の範囲で  $1/4$  の整数倍の予測係数 (9 種) の組合せを考える.
- (2) 三つの予測係数の和が 1 になる組合せは 10 通りである.
- (3) そのうち, 三つの予測係数が互いに異なる組合せは 5 通り, 二つの予測係数が等しい組合せは 5 通りであり, 各々 6 通りと 3 通りの係数の並びがあるので,  $5 \times 6 + 5 \times 3 = 45$  通りとなる.

前回, 著者らはこのトップダウン方式を適用するにあたり, 最初のパスを 10 枚の標準画像に対して行い, 10 枚の画像に対して選択の出現回数の多い最適な予測式群を定義し, 改めて, その予測式群を用いてある一つの画像に対して 2 番目のパスを実行する方法をとった (図3の(a)を参照). この方式では, 一つの画像

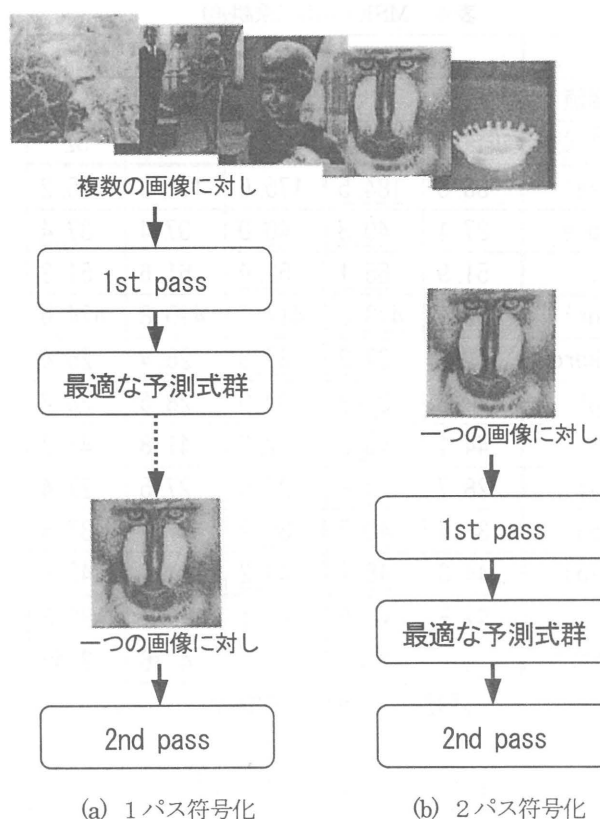


図3 1パス方式と2パス方式の符号化

の符号化にあたり、使用すべき予測式群はあらかじめ与えられており、2番目のパスのみを実行するので、本稿ではこの方式を1パス方式と名付ける。この1パス符号化方式の利点は、使用すべき予測式群があらかじめ与えられているので、処理時間が速い点である。欠点は、与えられた予測式群はあくまで複数画像のあるグループに対して最適であり、符号化対象の一つの画像に対しては最適とは限らないという点である。

そのため、今回は、2パスで構成されるトップダウン方式をそのまま一つの画像のみに適用する方法を提案する(図3の(b)を参照)。当然、処理時間は長くなるが、より最適な予測式の選択が期待される。

## 2. 3 評価基準

ブロック符号化における複数の予測式からの最適な予測式の選択にあたり、評価基準(評価値)として前述の大沢氏ら[6]は予測誤差の絶対値平均を用いている。この他、符号化方式は異なるが、評価基準として表1に示す項目がある。前回、著者らは文献[8]~[10]を踏襲し、MSE (Mean Square Error, 平均二乗誤差)を用いて符号化について考察した。しかし、本報告における最終的な目的は圧縮データのエン트로ピーを低くすることであるため、評価基準としてもエン트로ピー

表1 評価基準

予測符号化	文献	評価基準
ブロックごと	[6]	予測誤差の絶対値平均
	[8]~[10]	MSE (平均二乗誤差)
	本提案	エン트로ピー
ラインごと	[11]	絶対値誤差の最小累計
画素ごと	[7]	近傍画素での予測誤差電力

一を採用した。また、エン트로ピーの比較も一つのブロック内での予測誤差の出現頻度から算出するのではなく、前のブロックまでの予測誤差の出現頻度から算出した。

このように累計の出現頻度からエン트로ピーを算出する処理はMSEに比べると単純ではない。具体的には、45予測式について0~255の範囲に縮退した予測誤差ごとの2次元配列[45]×[256]を用意し、あるブロックで最適な予測式が選択され、符号化が行われた後に、そのブロックまでの縮退した予測誤差ごとの出現回数(累計)を2次元配列へコピーし、45種の予測式について縮退した予測誤差ごとの出現回数をカウントし、45種のエン트로ピーから最小となる予測式を選択した。一つの画像についてこの処理を繰り返した後、選択された回数の最も多い32, 16あるいは8種の予測式を決定する。2番目のパスにおいては、予測式の数だけ2次元配列を用意し、ブロックごとに最初のパスと同様の方法で縮退した予測誤差ごとの出現回数し、エン트로ピーから最小となる予測式を選択し、その予測式を用いて予測符号化を行う。

## 3. シミュレーション実験と考察

評価値としてMSEを用いた場合とエン트로ピーを用いた場合についてシミュレーション実験の結果を報告する。次に、それぞれの場合に関し、付加情報量を考慮した最終的なエン트로ピーについて報告する。

### 3. 1 MSEを評価値とした場合

表2と表3に評価値としてMSEを用いた場合の1パス方式と2パス方式のシミュレーション実験の結果を示す。使用した標準画像はSIDBAの9画像とWaterloo大学のBragzone ColorSetからの1画像のGreen画像である。画像サイズは同表中の上から順に、256×256画素が3枚、512×512画素が2枚、800×600画素が4枚、768×512画素が1枚である。同表中のJPEG7は、JPEG-Spatial方式の7種の予測式を用いた場合を示す。

表2 MSE (平均二乗誤差)

	1 パス				2 パス	
評価値	MSE (平均二乗誤差)					
予測式数	JPEG7	8	16	32	8	16
Aerial	183.5	173.9	172.6	172.3	173.6	172.5
Couple	37.1	38.7	34.1	33.7	36.4	34.1
Girl	51.9	49.9	47.9	47.4	<u>50.0</u>	47.9
mandrill	439.9	422.6	405.0	399.7	408.9	401.7
milkdrop	25.7	29.7	24.1	23.7	<u>31.1</u>	24.1
auto1	30.8	29.4	27.9	27.4	<u>29.5</u>	27.8
bear1	44.1	41.1	40.5	40.4	40.8	40.5
city1	28.7	27.3	26.6	26.3	27.1	26.6
home3	38.6	37.2	35.1	34.7	<u>39.4</u>	<u>35.2</u>
Tulips	44.3	45.1	40.3	38.3	43.0	40.1
平均	92.5	89.5	85.4	84.4	88.0	85.1
改善率[%]	—	3.24	7.68	8.76	4.86	8.00

表4 MSE (平均二乗誤差)

	1パス		2パス		
評価値	誤差	エントロピー			
予測式数	JPEG 7	JPEG 7	8	16	32
aerial	183.5	<u>184.5</u>	175.6	175.3	175.2
couple	37.1	<u>40.3</u>	<u>40.0</u>	<u>37.4</u>	<u>37.4</u>
Girl	51.9	<u>55.1</u>	<u>52.4</u>	51.6	51.2
mandrill	439.9	<u>443.8</u>	417.7	410.8	424.6
milkdrop	25.7	<u>27.2</u>	<u>37.6</u>	<u>26.4</u>	<u>26.4</u>
auto1	30.8	<u>31.8</u>	30.0	28.6	28.2
bear1	44.1	<u>45.9</u>	42.3	41.8	41.7
city1	28.7	<u>29.8</u>	27.8	27.5	27.4
home3	38.6	<u>40.7</u>	<u>39.2</u>	37.7	37.5
tulips	44.3	<u>48.7</u>	<u>48.2</u>	44.1	42.9
平均	92.5	94.8	91.1	88.1	89.3
改善率[%]	—	-2.49	1.51	4.76	3.46

誤差\*: 平均二乗誤差

表3 エントロピー [bit/pel]

	1 パス				2 パス	
評価値	MSE (平均二乗誤差)					
予測式数	JPEG 7	8	16	32	8	16
Aerial	5. 755	5. 715	5. 709	5. 708	5. 713	5. 708
Couple	4. 021	4. 106	3. 998	3. 990	4. 039	3. 995
Girl	4. 397	4. 385	4. 355	4. 349	4. 377	4. 352
mandrill	6. 314	6. 294	6. 257	6. 245	6. 267	6. 250
milkdrop	4. 111	4. 158	4. 084	4. 082	4. 157	4. 083
auto1	4. 296	4. 264	4. 239	4. 230	4. 262	4. 237
bear1	4. 621	4. 570	4. 563	4. 562	4. 567	4. 563
city1	4. 236	4. 208	4. 189	4. 185	4. 196	4. 189
home3	4. 178	4. 174	4. 124	4. 117	4. 198	4. 128
Tulips	4. 372	4. 390	4. 306	4. 288	4. 341	4. 306
平均	4. 630	4. 626	4. 582	4. 576	4. 612	4. 581
改善率[%]	—	0. 09	1. 04	1. 17	0. 39	1. 06

表5 エントロピー [bit/pel]

	1 パス		2 パス		
評価値	誤差*	エントロピー			
予測式数	JPEG 7	JPEG 7	8	16	32
aerial	5. 755	5. 751	5. 710	5. 705	5. 704
couple	4. 021	4. 005	3. 989	3. 956	3. 945
Girl	4. 397	4. 381	4. 361	4. 328	4. 325
mandrill	6. 314	6. 310	6. 267	6. 243	6. 238
milkdrop	4. 111	4. 102	<u>4. 164</u>	4. 056	4. 051
auto1	4. 296	4. 288	4. 253	4. 228	4. 218
bear1	4. 621	4. 621	4. 559	4. 550	4. 550
city1	4. 236	4. 230	4. 181	4. 171	4. 169
home3	4. 178	4. 166	4. 152	4. 098	4. 087
tulips	4. 372	4. 361	4. 332	4. 277	4. 256
平均	4. 630	4. 622	4. 597	4. 561	4. 554
改善率[%]	—	0. 17	0. 71	1. 49	1. 64

誤差\*: 平均二乗誤差

前回報告した1パス方式に比べ、2パス方式ではMSEが悪くなる画像がいくつかみられる(表2中のアンダーライン部)。これは、当然ながら、評価値としてMSEではなくエントロピーを使用したためである。しかし、結果として、2パス方式のエントロピーはhome3の画像を除きすべての画像で改善されていることがわかる。

以上より、同じMSEを評価値とした場合、2パス

方式を用いることにより、1パス方式よりもエントロピーが改善されることがわかる。

### 3. 2 エントロピーを評価値とした場合

表4と表5に評価値としてエントロピーを用いた場合の1パス方式と2パス方式のシミュレーション実験の結果を示す。まず、JPEG-Spatial方式の7種の予測式については、評価値としてエントロピーを使用す

と、MSE はすべての画像で悪くなるが、エントロピーはすべての画像で改善されることがわかる。また、2パス方式の場合でエントロピーを使用すると、垂直依存性が高いと思われる立像(couple)やしずく(milkdrop)の画像では MSE が悪くなる。しかし、8 予測式の milkdrop を除き、すべての画像でエントロピーは改善される。結果として、JPEG-Spatial 方式の 7 予測式で MSE を評価値として使用した場合に対する 8, 16 および 32 予測式の場合の改善率は、0.71%, 1.49%, および 1.64% となる。

### 3. 3 付加情報量の考察

前節までの実験結果には、どの予測式を用いて予測を行ったかの付加情報は考慮されていない。表 6 に一つのブロックに対し選択した予測式を指定するために必要な付加情報量を示す[5]。予測式の指定ビット数が 1 ビット増すごとに画素あたり 0.0156 ビットの付加情報量が増加する。この値は微量であるが、次に述べるエントロピーに影響を及ぼす。なお、付加情報自身も符号化すべきであるが、ここでは、非圧縮のデータ量として扱う。

表 7 にこの付加情報量を考慮した 10 画像平均のエントロピーを示す。同表において、どのパスと評価値に関しても、予測式の数が 16 のときに最もエントロピーが小さくなる。前回報告した 1 パス方式で評価値として MSE を使用した場合の改善率 0.68% に対し、今回提案した 2 パス方式で評価値としてエントロピーを使用した場合の改善率は 1.13% となり、本提案が有効であることがわかる。また、同表から、評価値として MSE を使用したまま 1 パスから 2 パス化するよりも、評価値としてエントロピーを採用する効果の方が高いことがわかる。

### 3. 4 処理時間の考察

本稿では予測式選択の評価基準としてエントロピーを使用することを提案している。そのため、2.3 で述べた処理のオーバーヘッドを伴い、符号化時間は長くなる。実験環境 (1.7GHz Pentium4, RAM 512Bytes, Windows XP) において、画像 girl (256×256 画素) を用いたとき、エントロピーを算出するまでの符号化処理時間は、前回提案の 1 パス・MSE 評価基準・16 予測式の場合の 0.2 秒に比べ、今回提案の 2 パス・エントロピー評価基準・16 予測式の場合は 4.3 秒 (最初のパスが 3.0 秒、2 番目のパスが 1.3 秒) であった。

しかし、復号化では使用すべき予測式がブロックご

表 6 8×8 画素ブロックの場合の予測式を指定するための付加情報量

予測式 の数	指定 ビット	付加情報量 [bit/pel]		7 予測式に 対する増分
7	3	3/(8×8)	0.046875	——
8				
16	4	4/(8×8)	0.062500	0.015625
32	5	5/(8×8)	0.078125	0.031250
45	6	6/(8×8)	0.093750	0.046875

表 7 付加情報量を考慮したエントロピー

パスと 評価値	予測式 の数	Entropy[bit/pel]		改善率 [%]	
		付加情報 なし	付加情報 あり	付加情報 なし	付加情報 あり
1 パス MSE	7	4.630	4.677	——	——
	8	4.626	4.673	0.09	0.09
	16	4.582	<u>4.645</u>	1.04	<u>0.68</u>
	32	4.576	4.654	1.17	0.49
2 パス MSE	8	4.612	4.659	0.39	0.38
	16	4.581	4.644	1.06	0.71
2 パス Entropy	8	4.597	4.644	0.71	0.71
	16	4.561	<u>4.624</u>	1.49	<u>1.13</u>
	32	4.554	4.632	1.64	0.96

とに指定され、エントロピーを評価基準とした予測式選択のオーバーヘッドは伴わないため、処理時間は両方式とも同じである。そのため、本提案は医用画像データベースやデジタル・アーカイブなどの復号を主体とする応用分野では有効であると思われる。

## 4. むすび

本報告では、任意のある一つに画像に対して、45 種の予測式から最適な 16 種の予測式を選択し、引き続きブロック符号化を行う 2 パス方式を提案した。また、予測式の選択にあたり、評価基準として MSE (Mean Square Error, 平均二乗誤差) を使用するよりもエントロピーを使用する方が有効であることを提案した。これらの提案を使用したシミュレーション実験の結果、前回提案した方式 (1 パス方式, 評価基準は MSE, JPEG-Spatial 方式の 7 予測式を用いた場合に対する付加情報量を含めたエントロピーの改善率は 0.68%) よりも、今回提案する方式 (2 パス方式, 評価基準はエントロピー, 同じくエントロピーの改善率は 1.13%) が有効であることを示した。



以上、本報告は  $8 \times 8$  画素の固定ブロックごとに選択された最適な予測式で予測を行う可逆符号化について論じた。今後の課題として、画素ごとに予測を行う可逆符号化方式、例えば、まえがきで述べた JPEG-LS, CALIC や TMW との比較や、それらについての基本的な研究も必要である。

## 参考文献

- [1] ISO/IEC 10928-1, "Digital Compression and Coding of Continuous-tone Still Images : Requirements and guidelines", Feb. 1994.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 FCD 14495, "Lossless and Near-lossless Coding of Continuous Tone Still Images (JPEG-LS)", July 1997.
- [3] 加治佐清光, 中村博文, 村島定行, "JPEG-LS のロスレス符号化のコンテキストモデルの考察," 電子情報通信学会論文(A), vol.J81-A, no.6, pp.1021-1025, June 1998.
- [4] 加治佐清光, 中村博文, 村島定行, "可変ブロックサイズセグメンテーションを用いた画像の可逆符号化の考察," 電子情報通信学会論文(D-II), vol.J80-D-II, no.12, pp.3226-3231, Dec. 1997.
- [5] 北薮圭基, 加治佐清光, "1/4 の整数倍の予測係数を用いたブロック画像符号化の考察," 火の国情報シンポジウム 2002 発表論文集, 情報処理学会九州支部, pp.45-50, Mar. 2002.
- [6] 大沢秀史, 加藤茂夫, 安田靖彦, "ブロック単位の予測切り替え方式を用いた多値画像の可逆符号化方式の検討," 画像電子学会誌, vol.26, no.6, pp.708-716, 1997.
- [7] 鈴木馨, 渡辺徹, 加藤茂夫, 宮道壽一, "JPEG-Spatial モード予測式の適応的切り替えによる自然画像のロスレス符号化," 画像電子学会誌, vol.27, no.3, pp.241-247, 1998.
- [8] 黒木祥光, 上繁義史, "予測符号化における予測係数の量子化," 電子情報通信学会技術報告, IE2000-34, July 2000.
- [9] 黒木祥光, 上繁義史, 太田諦二, "乗算を伴わない予測関数における予測効率の評価", 電子情報通信学会技術報告, IE2000-93, Nov. 2000.
- [10] 黒木祥光, 上繁義史, 太田諦二, "予測符号化における予測関数の選定," 第 15 回画像符号化シンポジウム (PCSJ2000), pp.117-118, Nov. 2000.
- [11] Greg Roelofs, "PNG The Definitive Guide," O'Reilly & Associates, Inc. June 1999.